

D E C L A R A T I O N

I, Robert C. Ferber, declare that I am well qualified as a translator of German to English and that I have carefully reviewed the attached English language translation from the original document, of

Vorrichtung und Verfahren zur Kalibrierung eines Bildsensors

(DEVICE AND METHOD FOR CALIBRATING AN IMAGE SENSOR)

written in German; and that the attached translation is an accurate English version of such original to the best of my knowledge and belief.

I certify under penalty of perjury that the foregoing is true and correct.

Date 10/16/2008

Signature Robert C. Ferber  
Name ROBERT C. FERBER

## DEVICE AND METHOD FOR CALIBRATING AN IMAGE SENSOR

## Background Information

The present invention relates to a method for determining calibration parameters of an image sensor.

- 5 Motor vehicle manufacturers plan the application of sensor systems, especially of image sensors, for monitoring the passenger compartment of a motor vehicle. The use of image sensors is provided for intelligent air bag control. Within the scope of intelligent air bag control, one task is the classification of seat occupancy in the motor vehicle, in order, for example, to prevent injuries in small children by the triggering of air bags in the case of
- 10 reverse-mounted child seats. Other planning involves monitoring the position of body parts of the passengers, such as the head or the torso, and/or the seating attitude of the passengers with respect to the air bag by a so-called "out-of-position detection", so as, in particular, to avoid injuries by too close a positioning of the head to the air bag module when the latter is triggered.
- 15 As an example, from WO 01/60662 A1, a method and a device are known for the detection of seat occupancy with the aid of a video sensor system and a foot space sensor system. It is proposed there to record the height of the head of a person occupying a seat using the video sensor system, to carry out, together with the foot space sensor system, a classification of the seat occupancy, and to control the air bag as a function of the seat occupancy. Any hints on a
- 20 device and a method for determining calibration parameters of an image sensor of the video sensor system are missing from WO 01/60662 A1.

## Summary of the Invention

- The device described below for determining at least one calibration parameter of at least one image sensor, upon a detected decalibration of the at least one image sensor a processing unit
- 25 determining the at least one calibration parameter as a function of image signals, which the at least one image sensor derives from at least one invariant pattern, has the advantage that

faulty functioning of at least one image sensor is able to be detected as a result of decalibrations and in addition is able to be automatically corrected. Alternatively, or in addition, it is of advantage to report a detected decalibration to at least one subsequent system and/or to the driver (operator) of the motor vehicle. In an advantageous manner, the automatic monitoring of the calibration contributes to a reliable functioning of image sensors, and thereby especially makes possible the use of image sensors, for applications in the motor vehicle passengers compartment, that are critical to safety.

Also in an advantageous manner, the expenditure for the assembly of the at least one image sensor in the motor vehicle is reduced by the automatic determination of at least one calibration parameter. This makes it unnecessary to carry out special calibration methods during the production of the motor vehicle and/or during repairs. Furthermore, the device contributes to tight manufacturing tolerances, which would have to be specified without the device, described below, for maintaining calibration parameters, being able to be loosened up. This yields an especially advantageous reduction in costs both in the manufacturing and/or the repair of a motor vehicle. In summary, the device described below is suitable in an advantageous manner for mass production application of image sensors for those applications in motor vehicles that are critical to safety, particularly for intelligent air bag control, particularly since faulty functioning of image sensors is detected especially in the form of decalibration.

What is particularly advantageous is the formation of the at least one invariant pattern by at least one reference object mounted in the scene for the determination of the at least one calibration parameter. The utilization of signalized reference objects for the calibration of at least one image sensor is advantageous. Particularly advantageous are the signalized reference objects in the passenger compartments of motor vehicles. Signalized reference objects have the advantage that they are easy to record by the sensor system, and because of the signalization, they are reliably able to be identified in the measuring data, using means of signal processing.

It is advantageous if the signalization of the reference objects is achieved by an especial brightness, either actively by illumination means, such as LED diodes and/or infrared light-emitting diode, and/or passively by surfaces of high reflectivity (reflective capacity, albedo). Therefore, special advantages come about due to reference objects which are developed as means of illumination, particularly as light-emitting diode (LED diode) and/or have high

reflectivity. Reference objects developed in this manner contribute to simple recordability of the at least one invariant pattern by the processing unit.

It is also advantageous if the signalization of the at least one reference object is achieved by a special shape. Especially advantageous are reference objects that have a geometrical shape, such as, for instance, a point and/or a circle and/or a triangle and/or a quadrilateral and/or a square. Alternatively, or additionally, letters and/or characters and/or logos are advantageous as reference objects. This contributes to a simple ability to identify the at least one invariant pattern in the image signals.

It is also advantageous to arrange reference objects to form at least one two-dimensional (2D) and/or at least one three-dimensional (3D) invariant pattern, the pattern having a geometrical shape such as, for instance, a cross and/or a circle and/or a character. This variant of the device described below is particularly advantageous in connection with signalized reference objects, especially those signalized by means of illumination such as light-emitting diodes. This helps in having the at least one invariant pattern able to be easily recognized by the processing unit and possibly having various invariant patterns able to be distinguished from one another.

It is particularly advantageous if the at least one reference object is mounted on at least one object of the scene relevant with respect to the monitoring function of the at least one image sensor. In particular, if the device is used in a motor vehicle, it is especially advantageous if at least one known reference object and/or one invariant pattern (reference pattern) is located on at least one object that is relevant for the respective application, such as, for example, the air bag flap and/or the actual air bag and/or the steering wheel. This makes possible the measurement of the distance between at least one or several of these relevant objects and other objects in the motor vehicle's passenger compartment that are also not signalized, without the position and alignment of the sensor system, that is, of the at least one image sensor, to this at least one relevant object having to be known a priori, for instance by measuring using an additional sensor.

Another advantage occurs if the at least one invariant pattern is alternatively or additionally formed by at least one naturally occurring object of the scene. It is especially advantageous if, for the purpose of calibration, the position of objects, present in the motor vehicle conditioned upon the model, is monitored and followed in the image signals. Objects, present

in the motor vehicle conditioned upon the model, are, for instance, at least one door pillar and/or at least one instrument and/or at least one inside roof lining of the motor vehicle roof.

The device described below is advantageous for determining at least one calibration parameter of at least one CMOS image sensor and/or at least one CCD image sensor and/or at least one monocular image sensor and or at least one stereo camera and/or at least one image sensor giving an image in depth.

The advantages of the device described above correspondingly apply to the method for determining at least one calibration parameter of at least one image sensor.

Particularly advantageous is a computer program having program code means for carrying out all the steps or at least the essential steps of the method described below, when the program is run on a computer. The use of a computer program makes possible the rapid and cost-effective adaptation of the method to different invariant patterns and/or different scenes, especially different passenger compartments of motor vehicles.

Additional advantages are revealed in the subsequent description of exemplary embodiments with reference to the figures and in the dependent claims.

#### Brief Description of the Drawings

The present invention is explained in greater detail below with the aid of exemplary embodiments shown in the drawings. The figures show:

- Figure 1 a drawing of a general view,
- Figure 2 a block diagram,
- Figure 3 a drawing of the general view of a preferred exemplary embodiment,
- Figure 4 a flow chart,
- Figure 5 a drawing of a general view of an additional exemplary embodiment.

#### Description of Exemplary Embodiments

Below, we describe a device and a method for monitoring, tracking and determining at least one calibration parameter of the geometrical calibration of at least one image sensor, the at

least one image sensor being configured in such a way that it monitors a scene with the parts remaining the same. In one exemplary embodiment, the at least one image sensor is used for monitoring the passenger compartment of a motor vehicle.

When image sensors are used within the scope of intelligent air bag control in the passenger compartment of the vehicle, particularly for the classification of seat occupancy and/or out-of-position detection, the production of a geometrical position relationship between measuring data and the passenger compartment of the vehicle is necessary, that is, for example, the body and/or the air bag module. To do this, two different assumed designs are conceivable. First, it is possible to describe the measured value recording explicitly by a mathematical model. The mathematical model contains numerical calibration parameters which describe the position of the at least one image sensor with respect to the motor vehicle (extrinsic calibration parameters of the extrinsic calibration) and/or numerical calibration parameters which characterize the measured value recording in at least one image sensor (intrinsic calibration parameters of the intrinsic calibration). Intrinsic calibration parameters are, for example, at least one camera constant and/or at least one camera principal point and/or at least one register parameter. In the second procedure, there is a direct evaluation of the measured data, for instance, using a classifier. In this context, there exist explicitly no numerical calibration parameters in the overall system of image sensor and evaluation. For the classification, an adaptive classifier is used in the processing unit, for instance, a neuronal network. The classifier is trained first. To do this, using the sensor, various seat occupations are recorded, for instance, seat empty and/or child's seat, and, for the situation, one manually stores the desired, correct decision as, for example, seat empty. The classifier is notified of measured data having a correct decision, and it extracts from this data for the classification (training of the neuronal network). In its later use, the classifier will derive a decision from arriving measured data. The classifier knows nothing about the geometry and the calibration. If the image sensor changes its position in the motor vehicle, it is not sure that the classifier will deliver correct decisions without renewed training. After beginning to use an image sensor in a motor vehicle, for monitoring the passenger compartment, corresponding to the two procedures, either the calibration parameters have to be known and/or determined, or the properties of the measured value recording are implicitly assumed to be known or to be constant over the time period of use. These properties of the at least one image sensor, that there is an explicitly and/or implicitly known geometrical position relationship between the measured data and the monitored scene, particularly the

passenger compartment of the motor vehicle, is designated as the geometrical calibration of the at least one image sensor.

The subsequently described device and the method perform automatic monitoring and detection of decalibration, for instance, by maladjustment and/or changes in the measured value recording, of the at least one image sensor. Besides that, the device and the method make possible the automatic determination and/or tracking of at least one calibration parameter of the at least one image sensor during the operation of the sensor. For the automatic monitoring of the decalibration and the calibration of the at least one image sensor, at least one special signalized reference object, which, in the preferred exemplary embodiment is applied in the passenger compartment of a motor vehicle, and/or at least one naturally occurring object of the scene, in the preferred exemplary embodiment at least one design-conditioned object present in the motor vehicle, are used as reference objects. The reference objects are observed using the at least one image sensor. The measured data of the at least one image sensor appertaining to the reference objects are also evaluated by comparing the measured data with the setpoint data. In the light of the difference between the measured data and the setpoint data the functioning of the at least one image sensor is monitored and/or the at least one image sensor is calibrated after the determination of at least one calibration parameter.

Figure 1 shows a general drawing of the preferred exemplary embodiment to explain the use of image sensor 12, which is being applied to the monitoring of passenger compartment 28 of a motor vehicle. Image sensor 12 is applied in the vicinity of windshield 30 and roof 36 of the motor vehicle in such a way that the image coverage area of image sensor 12 records passenger compartment 28 of the motor vehicle. In this context, image sensor 12 records seat 38, for example, the front passenger seat and/or headrest 40. In addition, image sensor 12 possibly records a person (that is not drawn in) and/or other objects in passenger compartment 28, particularly on seat 38. Image sensor 12 is connected to a processing unit 14 via a signal line 26. Figure 1 shows position 30 of image sensor 12 with respect to reference system 32 of the motor vehicle. Figure 1 also shows an air bag module 50, which is applied for the protection of persons in passenger 28 when the motor vehicle is in an accident.

Figure 2 shows a block diagram of Figure 1, composed of scene 10 that is to be monitored, image sensor 12 and a processing unit 14. Scene 10, that is to be monitored, is the passenger compartment of the motor vehicle. From light radiation 20 of scene 10 that is to be

monitored, image sensor 12 generates image signals 22. Image signals 22 are transmitted as measured data to processing unit 14 via signal line 26, as shown in Figure 1. In processing unit 14, first of all, the method described below, for determining at least one calibration parameter, is carried out. Secondly, the processing of image signals 22 of image sensor 12 takes place in processing unit 14, in order to fulfill the monitoring function of image sensor 12. Image sensor 12 and processing unit 14 form measuring system 16. In the preferred exemplary embodiment, image sensor 12 is used for the intelligent control of the air bag. Processing unit 14 evaluates image signals 22 in order to pass on signals of measuring system 24 via a signal line to a subsequent system 18 for the air bag control. The signals of measuring system 24 include data for the classification of the seat occupancy and/or data on out-of-position detection of persons on the seats of the motor vehicle. The transmission of image signal 22 and/or the signals of measuring system 24 on the signal lines takes place electrically and/or optically and/or by radio communication. In one variant of the preferred exemplary embodiment, image sensor 12 and/or processing unit 14 and/or the following system 18 are implemented in one or possibly several units.

Figure 3 shows a general drawing of the preferred exemplary embodiment having a device for determining at least one calibration parameter of image sensor 12. Figure 3 represents a broadening of Figure 1. In the following, only the additional parts in Figure 3 are explained. In passenger compartment 28 of the motor vehicle, specially signalized objects 42 are inserted in such a way that they are within the image coverage area of the image sensor. Signalized objects 42 are objects which are well detected automatically by each respective sensor system, in the preferred exemplary embodiment this being image sensor 12. In the preferred exemplary embodiment, infrared light-emitting diodes (IR light-emitting diodes) are used. The position of signalized objects 42 in the measured data (image signals) of image sensor 12 (video sensor) are compared to the setpoint position of signalized objects 42 in processing unit 14. When there is a deviation, this detects a decalibration. Furthermore, the position of signalized objects 42 in the sensor measured data is used for the tracking and/or determination of at least one calibration parameter. In one variant of the preferred exemplary embodiment, reference objects having surfaces of high reflectivity are used as signalized reference objects 42. Preferably, signalized reference objects 42 having a reflectivity between 0.5 and 1.0 are used. The synonyms reflectivity, reflection capacity and albedo indicate the proportion of the radiation, incident on a surface, that is reflected. The reflectivity may assume values between 0 and up to 1, a value of 1 meaning that 100% of the incident



radiation is being reflected. In addition, the reference objects possibly have a geometrical shape. As geometrical shapes, use is made, for example, of at least one point and/or at least one circle and/or at least one triangle and/or at least one quadrilateral and/or at least one square. Alternatively, or in addition to the geometrical shape, in further variants, at least one letter and/or at least one character and/or at least one logo are used as reference objects. In one additional variant, several reference objects are alternatively or additionally positioned to form a 2D or a 3D pattern, for example, at least one cross and/or at least one circle and/or at least one character. In addition, the reference objects and/or the patterns are mounted alternatively or additionally on at least one object relevant to the respective application, such as the air bag flap and/or the actual air bag and/or the steering wheel. Evaluation unit 14 includes at least one microprocessor and is made up of a plurality of modules shown in Figure 4, which are developed as programs and/or program steps of the at least one microprocessor.

Figure 4 shows a flow chart of the method of the preferred exemplary embodiment for the automatic control and/or tracking and/or determination of at least one calibration parameter of the geometrical calibration of at least one image sensor. The method presupposes that there is model knowledge 60 about the geometrical position of reference objects in the passenger compartment of the motor vehicle and/or about setpoint values 64 of the measured data of the at least one image sensor of the reference objects in the passenger compartment of the motor vehicle. During use (operation), the sensor measured data, appertaining to the known reference objects, are detected in the form of image signals 22 by image sensor 12. The sensor measured data (image signals 22) of the reference objects are compared to setpoint data 64 in the model for difference formation 66, and from this there is recognized, in the module for determining calibration data 68, a decalibration of the image sensor and/or, from the sensor measured data (image signals 22) of the reference objects, at least one calibration parameter is determined via a mathematical model of the image sensor imaging. In the motor vehicle's passenger compartment, let us specify a Euclidian coordinate system (vehicle coordinate system). In the vehicle passenger compartment there are point-shaped reference objects  $P_{subi}$  ( $i = 1..N$ ) having known 3D coordinates  $x_i, y_i, z_i$ ). Furthermore, the setpoint position of an image sensor in the 3D vehicle coordinate system (extrinsic calibration parameter) is given. The setpoint position is made up of 6 parameters, the position of the projection center of the image sensor in the motor vehicle:  $(t_x, t_y, t_z)$  and the rotation

between the motor vehicle and the image sensor, which is indicated by the rotational angles  $\alpha, \psi, \gamma$ . From the rotational angles one obtains the rotational matrix

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \gamma & \cos \psi \sin \gamma & -\sin \psi \\ \sin \alpha \sin \psi \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \sin \alpha \sin \psi \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \psi \\ \cos \alpha \sin \psi \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \psi \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \cos \psi \end{pmatrix} \quad (1)$$

- 5 Also known are the intrinsic calibration parameters, the chamber constants  $c_x, c_y$  and the coordinates of the image principal point  $x_H, y_H$ . The projection of the 3D coordinates  $(x_i, y_i, z_i)$  of the point objects into the image, into the image coordinates  $(x'_i, y'_i)$  may be mathematically described by:

$$\begin{aligned} x'_i &= c_x \frac{r_{11}(x_i - t_x) + r_{12}(y_i - t_y) + r_{13}(z_i - t_z)}{r_{31}(x_i - t_x) + r_{32}(y_i - t_y) + r_{33}(z_i - t_z)} + x_H; \\ y'_i &= c_y \frac{r_{21}(x_i - t_x) + r_{22}(y_i - t_y) + r_{23}(z_i - t_z)}{r_{31}(x_i - t_x) + r_{32}(y_i - t_y) + r_{33}(z_i - t_z)} + y_H; \end{aligned} \quad (2)$$

- The result is setpoint coordinates  $x'_{si}, y'_{si}$  of the point-shaped reference objects in the image. The measurement of the point-shaped reference objects in the image yields the image coordinates  $x'_{Mi}, y'_{Mi}$ . The distance between setpoint position and actual position

$$d_{SMi} = \sqrt{(x'_{si} - x'_{Mi})^2 + (y'_{si} - y'_{Mi})^2} \quad (3)$$

- is used for the detection of decalibration of the sensor system. If distances are greater than a predefined threshold ( $d_{MSi} > d_{MSmax}$ ), this establishes that there is decalibration of the image sensor. For a correction of the extrinsic calibration parameters  $(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z)$  of the image sensor, the parameters  $(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z)$  are varied, so that the error square sum between measured image coordinates and projected image coordinates becomes a minimum:

$$\sum_i (x'_{Mi} - x'(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z, x_i, y_i, z_i))^2 + (y'_{Si} - y'(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z, x_i, y_i, z_i))^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

The image coordinates  $x'(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z)$  and  $y'(\alpha, \psi, \gamma, t_x, t_y, t_z)$  are given by the above projection rule (2).

Figure 5 shows a general drawing of an additional exemplary embodiment having a device for determining at least one calibration parameter of image sensor 12. Figure 5 represents a broadening of Figure 1. In the following, only the additional parts in Figure 5 are explained. For the purpose of monitoring a decalibration, and/or for determining at least one calibration parameter of the geometrical calibration, in this exemplary embodiment, the position of design-conditioned objects present in the motor vehicle in the sensor measured data is monitored and followed. The design-conditioned objects present in the motor vehicle, such as door pillar 44 and/or the inside roof lining of the vehicle roof 46 and/or instrument 48 are used as reference objects, their position being measured and controlled as a function of the image signals of image sensor 12. Evaluation unit 14 includes, as in the preferred exemplary embodiment according to Figure 3, at least one microprocessor and is made up of a plurality of modules shown in Figure 4, which are developed as programs and/or program steps of the at least one microprocessor. In one additional specific embodiment, as reference objects, both at least one reference object (a signaling reference object), applied in the scene, for the determination of the at least one calibration parameter, and at least one naturally occurring object of the scene, that is, a design-conditioned object present in the passenger compartment of the motor vehicle, are used.

The device described and the method for determining at least one calibration parameter of at least one image sensor are not limited to use in motor vehicle technology. Rather, the procedure described, having the corresponding features, may also be used outside motor vehicle technology. The only assumption is that at least one image sensor is configured in such a way that the at least one image sensor is suitable for monitoring a scene that stays the same in parts. A scene that stays the same in parts is distinguished by the fact that parts of the scene are unchangeable in time. Such scenes occur, for example, in monitoring technology and safety technology. In the monitoring of airports, railroad stations or streets, the scene likewise stays the same. Another case of application is the monitoring of a room, such as the vault of a bank, using at least one image sensor. These scenes, as well, stay the same in parts. Furthermore, the method may be used in the case of at least one image sensor that is set up

for monitoring the surroundings of a motor vehicle. Here too, the assumption is that parts of the scene do not change with time. Parts that do not change with time are present if components of the motor vehicle, such as the hood and/or the bumper lie within the image coverage area of the at least one image sensor.

- 5 In one variant of the device and the method described, at least one reference object is applied to at least one object of the scene that is relevant with respect to the monitoring function of the at least one image sensor. Relevant objects are distinguished by either being directly the object of the monitoring function of the at least one image sensor 12, or alternatively or additionally being connected indirectly functionally to the monitoring function of the image  
10 sensor. In the field of motor vehicle technology, the air bag flap is an example of a relevant object which is directly functionally connected to the monitoring function of the image sensor. Although the image sensor is primarily used for monitoring the occupancy of the seat, the monitoring function is functionally connected to the air bag flap via the air bag control. In the field of safety technology, such as in the monitoring of a bank vault, the safe of the bank  
15 is directly the relevant object of the monitoring function of the at least one image sensor.

The device described above and the method are used in additional variants in the cases of at least one or more than one image sensors. As the image sensor, at least one monocular image sensor and/or at least one stereo camera and/or at least one depth image-supplying image sensor are used. Stereo cameras are made up of at least two image sensors, which essentially  
20 do a take of the same scene. In-depth image-supplying image sensors are distance image sensors, such as time-of-flight optical sensors (range video camera).

What Is Claimed Is:

1. A device for determining at least one calibration parameter of at least one image sensor,
  - the at least one image sensor monitoring a scene staying the same in parts, particularly the passenger compartment of a motor vehicle,
  - at least one processing unit detecting a decalibration of the at least one image sensor in the operation of the at least one image sensor, as a function of image signals,
  - upon the detection of a decalibration, the processing unit reporting the decalibration to a subsequent system and/or to the driver, and/or determining the at least one calibration parameter as a function of the image signals,
  - the at least one image sensor deriving the image signals at least from at least one invariant pattern in the image coverage range of the at least one image sensor.
2. The device as recited in Claim 1,  
wherein the at least one invariant pattern is formed by at least one reference object applied in the scene for determining the at least one calibration parameter.
3. The device as recited in Claim 2,  
wherein the at least one reference object is an illumination means, especially that the at least one reference object is an infrared light-emitting diode, and/or the at least one reference object is designed in such a way that it has high reflectivity, in particular, that it has a reflectivity between 0.5 and 1.0.
4. The device as recited in one of Claims 2 through 3,  
wherein the at least one reference object has a geometrical shape, such as a point and/or a circle and/or a triangle and/or a quadrilateral and/or a square and/or the at least one reference object is at least one letter and/or at least one character and/or at least one logo.
5. The device as recited in one of Claims 2 through 4,  
wherein the at least one reference object is applied to at least one object of the scene that is relevant with respect to the monitoring function of the at least one image sensor; particularly,

the at least one reference object is applied to at least one air bag flap and/or at least one air bag and/or at least one steering wheel in the passenger compartment of the motor vehicle.

6. The device as recited in one of the preceding claims, wherein the at least one invariant pattern is formed by at least one naturally occurring object of the scene; in particular, the at least one invariant pattern is formed by at least one object located in design-conditioned fashion in the passenger compartment of a motor vehicle.

7. A device for determining at least one calibration parameter of at least one image sensor,

- the at least one image sensor monitoring a scene staying the same in parts, particularly the passenger compartment of a motor vehicle,
- a decalibration of the at least one image sensor being detected during the operation of the at least one image sensor as a function of image signals,
- upon the detection of a decalibration, the decalibration being reported to a subsequent system and/or to the driver, and/or the at least one calibration parameter being determined as a function of the image signals,
- the image signals being derived from at least one invariant pattern in the image coverage range of the at least one image sensor by the at least one image sensor.

8. The method as recited in Claim 7, wherein the image signals are derived from at least one reference object applied in the scene for the determination of at least one calibration parameter and/or are derived at least from at least one naturally occurring object of the scene, the at least one reference object being especially an illuminating means and/or the at least one reference object having a high reflectivity.

9. The method as recited in Claim 8, wherein the image signals are derived from at least one reference object, the at least one reference object being applied to an object of the scene that is relevant with respect to the monitoring function of the at least one image sensor; particularly, the at least one reference object is applied to at least one air bag flap and/or at least one air bag and/or at least one steering wheel in the passenger compartment of the motor vehicle.

10. A computer program having program code means for carrying out all the steps of each of any of the Claims 7 through 9 when the program is run on a computer.

## Abstract

A device and a method are proposed for monitoring, tracking and determining at least one calibration parameter of the geometrical calibration of at least one image sensor, the at least one image sensor monitoring a scene that stays the same in parts. In one exemplary  
5 embodiment, the at least one image sensor is used for monitoring the passenger compartment of a motor vehicle.

(Figure 1)



5

10 Vorrichtung und Verfahren zur Kalibrierung eines Bildsensors

Stand der Technik

15

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern eines Bildsensors.

20

Kraftfahrzeughersteller planen den Einsatz von Sensorik, insbesondere von Bildsensoren, zur Überwachung des Innenraumes eines Kraftfahrzeuges. Vorgesehen ist die Verwendung von Bildsensoren bei der intelligenten Airbagsteuerung. Im Rahmen der intelligenten Airbagsteuerung wird an der Klassifikation der Sitzbelegung im Kraftfahrzeug gearbeitet, um beispielsweise Verletzungen bei Kleinkindern durch die Auslösung des Airbags bei rückwärts eingebauten Kindersitzen zu verhindern. Andererseits ist geplant, die Position von Körperteilen der Insassen, wie dem Kopf oder dem Rumpf, und/oder die Sitzhaltung der Insassen bezüglich des Airbags durch eine sogenannten „Out-of-Position Detektion“ zu überwachen, um insbesondere Verletzungen durch zu dichte Positionierung des Kopfes am Airbagmodul bei dessen Auslösung zu verhindern.

25

30

Beispielsweise ist aus der WO 01/60662 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Sitzbelegungserkennung mittels Videosensorik und Fußraumsensorik bekannt. Es wird vorgeschlagen, die Kopfhöhe einer auf einem Sitz befindlichen Person mit der Videosensorik zu erfassen, zusammen mit der Fußraumsensorik eine Klassifikation der Sitzbelegung durchzuführen und in Abhängigkeit der Sitzbelegung den Airbag zu steuern. Hinweise auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierparametern eines Bildsensors der Videosensorik fehlen in der WO 01/60662 A1.

## Vorteile der Erfindung

Die nachfolgend beschriebene Vorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines  
5 Kalibrierparameters wenigstens eines Bildsensors, wobei bei einer erkannten Dekalibrierung des  
wenigstens einen Bildsensors wenigstens eine Verarbeitungseinheit den wenigstens einen  
Kalibrierparameter in Abhängigkeit von Bildsignalen bestimmt, die der wenigstens eine  
Bildsensor zumindest von wenigstens einem invarianten Muster ableitet, hat den Vorteil, dass  
10 eine Fehlfunktion wenigstens eines Bildsensors infolge von Dekalibrierungen erkannt und  
zusätzlich automatisch korrigiert werden kann. Alternativ oder zusätzlich ist es vorteilhaft, eine  
erkannte Dekalibrierung wenigstens einem nachfolgenden System und/oder dem Fahrer  
(Bediener) des Kraftfahrzeuges zu melden. Die automatische Überwachung der Kalibrierung  
trägt in vorteilhafter Weise zu einer zuverlässigen Funktion von Bildsensoren bei und  
ermöglicht hierdurch insbesondere einen Einsatz von Bildsensoren für sicherheitskritische  
15 Anwendungen im Kraftfahrzeuginnenraum.

Ferner wird in vorteilhafter Weise der Aufwand der Montage des wenigstens einen Bildsensors  
im Kraftfahrzeug durch die automatische Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters  
verringert. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit spezielle Kalibrierverfahren während der  
20 Fertigung des Kraftfahrzeuges und/oder bei Reparaturarbeiten durchzuführen. Ferner trägt die  
Vorrichtung dazu bei, dass enge Fertigungstoleranzen, die ohne die nachfolgend beschriebene  
Vorrichtung zur Einhaltung von Kalibrierparametern spezifiziert werden müssten, vergrößert  
werden können. Hieraus ergibt sich eine besonders vorteilhafte Kostensenkung bei der  
Fertigung und/oder der Reparatur eines Kraftfahrzeuges. Zusammenfassend ist die nachfolgend  
25 beschriebene Vorrichtung in vorteilhafter Weise für den Serieneinsatz von Bildsensoren bei  
sicherheitskritischen Anwendungen in Kraftfahrzeugen, insbesondere bei einer intelligenten  
Airbagsteuerung, geeignet, da Fehlfunktionen der Bildsensoren insbesondere in Form einer  
Dekalibrierung erkannt werden.

30 Besonders vorteilhaft ist die Bildung des wenigstens einen invarianten Musters durch  
wenigstens ein zur Bestimmung des wenigstens einen Kalibrierparameters in der Szene  
angebrachtes Bezugsobjekt. Vorteilhaft ist die Nutzung von signalisierten Bezugsobjekten zur  
Kalibrierung wenigstens eines Bildsensors. Besonders vorteilhaft sind die signalisierten  
Bezugsobjekte im Innenraum von Kraftfahrzeugen. Signalisierte Bezugsobjekte haben den

Vorteil, dass sie von der Sensorik einfach erfassbar sind und durch die Signalisierung mit Mitteln der Signalverarbeitung in den Messdaten zuverlässig identifizierbar sind.

5 Vorteilhaft ist, wenn die Signalisierung der Bezugsobjekte durch eine besondere Helligkeit erreicht wird, entweder aktiv durch Leuchtmittel, wie LED-Dioden und/oder Infrarot-Leuchtdioden, und/oder passiv durch Oberflächen hoher Reflektivität (Rückstrahlungsvermögen, Albedo). Besondere Vorteile weisen daher Bezugsobjekte auf, die als Leuchtmittel, insbesondere als Leuchtdiode (LED-Dioden), ausgestaltet sind und/oder die eine hohe Reflektivität haben. Derart gestaltete Bezugsobjekte tragen zu einer einfachen  
10 Erfassbarkeit des wenigstens einen invarianten Musters durch die Verarbeitungseinheit bei.

Ferner ist von Vorteil, wenn die Signalisierung des wenigstens einen Bezugsobjektes durch eine besondere Form erreicht wird. Besonders vorteilhaft sind Bezugsobjekte, die eine geometrische Form haben, wie beispielsweise einen Punkt und/oder einen Kreis und/oder ein Dreieck  
15 und/oder ein Viereck und/oder ein Quadrat. Alternativ oder zusätzlich sind Buchstaben und/oder Schriftzüge und/oder Logos als Bezugsobjekte vorteilhaft. Dies trägt zu einer einfachen Identifizierbarkeit des wenigstens einen invarianten Musters in den Bildsignalen bei.

Vorteilhaft ist ferner die Anordnung von Bezugsobjekten zu wenigstens einem  
20 zweidimensionalen (2D) und/oder wenigstens einem dreidimensionalen (3D) invarianten Muster, wobei das Muster eine geometrische Form, wie beispielsweise ein Kreuz und/oder ein Kreis und/oder einen Schriftzug, aufweist. Besonders vorteilhaft ist diese Variante der nachfolgend beschriebenen Vorrichtung in Verbindung mit signalisierten Bezugsobjekten, insbesondere mit durch Leuchtmittel, wie Leuchtdioden, signalisierten Bezugsobjekten. Dies  
25 trägt dazu bei, dass das wenigstens eine invariante Muster durch die Verarbeitungseinheit einfach wiedererkannt und gegebenenfalls verschiedene invariante Muster voneinander unterschieden werden können.

Besonders vorteilhaft ist, wenn das wenigstens eine Bezugsobjekt auf wenigstens einem  
30 bezüglich der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors relevanten Objekt der Szene angebracht ist. Insbesondere bei der Verwendung der Vorrichtung in einem Kraftfahrzeug ist es besonders vorteilhaft, wenn sich wenigstens ein bekanntes Bezugsobjekt und/oder ein invariantes Muster (Bezugsmuster) auf wenigstens einem für eine jeweilige Anwendung relevanten Objekt, wie beispielsweise der Airbag-Klappe und/oder dem eigentlichen Airbag

und/oder dem Lenkrad, befindet. Dies ermöglicht die Abstandmessung zwischen wenigstens einem oder mehreren dieser relevanten Objekte und anderen, auch nicht signalisierten Objekten im Kraftfahrzeuginnenraum, ohne dass die Lage und Ausrichtung der Sensorik, also des wenigstens einen Bildsensors, zu diesem wenigstens einem relevanten Objekt a priori, beispielsweise durch Vermessung mit einem weiteren Sensor, bekannt sein muss.

Vorteilhaft ist ferner, wenn das wenigstens eine invariante Muster alternativ oder zusätzlich durch wenigstens ein natürlich vorkommendes Objekt der Szene gebildet wird. Besonders vorteilhaft ist, wenn zum Zweck der Kalibrierung die Lage von bauartbedingt im Kraftfahrzeug vorhandenen Objekten in den Bildsignalen überwacht und verfolgt wird. Bauartbedingt im Kraftfahrzeug vorhandene Objekte sind beispielsweise wenigstens ein Türholm und/oder wenigstens eine Armatur und/oder wenigstens ein Himmel des Kraftfahrzeugdaches.

Vorteilhaft ist die nachfolgend beschriebene Vorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters wenigstens eines CMOS-Bildsensors und/oder wenigstens eines CCD-Bildsensors und/oder wenigstens eines monokularen Bildsensors und/oder wenigstens einer Stereokamera und/oder wenigstens eines tiefenbildgebenden Bildsensors.

Die vorstehend beschriebenen Vorteile der Vorrichtung gelten entsprechend für das Verfahren zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters wenigstens eines Bildsensors.

Besonders vorteilhaft ist ein Computerprogramm mit Programmcodemitteln, um alle Schritte oder zumindest die wesentlichen Schritte des nachfolgend beschriebenen Verfahrens durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird. Die Verwendung eines Computerprogramms ermöglicht die schnelle und kostengünstige Anpassung des Verfahrens an unterschiedliche invariante Muster und/oder unterschiedliche Szenen, insbesondere unterschiedliche Innenräume von Kraftfahrzeugen.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Figuren und aus den abhängigen Patentansprüchen.

Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsformen näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1 eine Übersichtszeichnung,
- Figur 2 ein Blockdiagramm,
- Figur 3 eine Übersichtszeichnung des bevorzugten Ausführungsbeispiels,
- Figur 4 ein Ablaufdiagramm,
- Figur 5 eine Übersichtszeichnung eines weiteren Ausführungsbeispiels.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Nachfolgend werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Überwachung, Nachführung und Bestimmung von wenigstens einem Kalibrierparameter der geometrischen Kalibrierung von wenigstens einem Bildsensor beschrieben, wobei der wenigstens eine Bildsensor derart konfiguriert ist, dass er eine in Teilen gleichbleibende Szene überwacht. In einem Ausführungsbeispiel wird der wenigstens eine Bildsensor zur Überwachung des Innenraumes eines Kraftfahrzeuges verwendet.

Beim Einsatz von Bildsensoren im Rahmen der intelligenten Airbagsteuerung im Fahrzeuginnenraum, insbesondere bei der Klassifikation der Sitzbelegung und/oder der Out-Of-Position Detektion, ist die Herstellung einer geometrischen Lagerrelation zwischen Messdaten und Fahrzeuginnenraum, also beispielsweise der Karosse und/oder dem Airbagmodul, notwendig. Hierzu sind zwei unterschiedliche Vorgehensweisen denkbar. Zum einen ist es möglich, durch ein mathematisches Modell explizit die Messwerterfassung zu beschreiben. Das mathematische Modell enthält numerische Kalibrierparameter, welche die Lage des wenigstens einen Bildsensors bezüglich des Kraftfahrzeuges beschreiben (extrinsische Kalibrierparameter der extrinsischen Kalibrierung) und/oder numerische Kalibrierparameter, welche die Messwerterfassung im wenigstens einen Bildsensor charakterisieren (intrinsischen Kalibrierparameter der intrinsischen Kalibrierung). Intrinsische Kalibrierparameter sind beispielsweise wenigstens eine Kamerakonstante und/oder wenigstens ein Kamerahauptpunkt und/oder wenigstens ein Verzeichnisparameter. Bei der zweiten Vorgehensweise erfolgt eine direkte Auswertung der Messdaten, beispielsweise über einen Klassifikator. Dabei existieren

explizit keine numerischen Kalibrierparameter im Gesamtsystem Bildsensor und Auswertung. Zur Klassifikation wird in der Verarbeitungseinheit ein lernfähiger Klassifikator, beispielsweise ein neuronales Netz, verwendet. Der Klassifikator wird zunächst trainiert. Hierzu werden mit dem Sensor verschiedene Sitzbelegungen, beispielsweise Sitz leer und/oder Kindersitz,  
5 aufgenommen und zur Situation manuell die gewollten, korrekten Entscheidung, wie beispielsweise Sitz leer, gespeichert. Die Messdaten mit korrekter Entscheidung werden dem Klassifikator mitgeteilt, der hieraus Daten für die Klassifikation extrahiert (Anlernen des neuronalen Netzes). Im späteren Einsatz wird der Klassifikator aus ankommenden Messdaten eine Entscheidung ableiten. Über die Geometrie und die Kalibrierung weiß der Klassifikator  
10 nichts. Wenn der Bildsensor seine Lage im Kraftfahrzeug ändert, ist nicht sichergestellt, dass der Klassifikator ohne erneutes Anlernen korrekte Ergebnisse liefert. Nach Inbetriebnahme eines Bildsensors in einem Kraftfahrzeug zur Überwachung des Innenraumes müssen entsprechend der beiden Vorgehensweisen entweder die Kalibrierparameter bekannt sein und/oder bestimmt werden oder es werden implizit die Eigenschaften der Messwerterfassung als  
15 bekannt und über den Einsatzzeitraum als unveränderlich vorausgesetzt. Diese Eigenschaften des wenigstens einen Bildsensors, dass eine explizit und/oder implizit bekannte geometrische Lagerrelation zwischen den Messdaten und der überwachten Szene, insbesondere dem Innenraum des Kraftfahrzeuges, besteht, wird als geometrische Kalibrierung des wenigstens einen Bildsensors bezeichnet.

20 Die nachfolgend beschriebene Vorrichtung und das Verfahren leisten eine automatische Überwachung und Erkennung von Dekalibrierung, beispielsweise durch Dejustage und/oder Änderungen in der Messwerterfassung, des wenigstens einen Bildsensors. Daneben ermöglichen die Vorrichtung und das Verfahren die automatische Bestimmung und/oder Nachführung von  
25 wenigstens einem Kalibrierparameter des wenigstens einen Bildsensors während des Sensorbetriebes. Für die automatische Überwachung der Dekalibrierung und die Kalibrierung des wenigstens einen Bildsensors wird wenigstens ein spezielles signalisiertes Bezugsobjekt, das im bevorzugten Ausführungsbeispiel im Innenraum eines Kraftfahrzeugs angebracht ist, und/oder wenigstens ein natürlich vorkommendes Objekt der Szene, im bevorzugten  
30 Ausführungsbeispiel wenigstens ein bauartbedingt im Kraftfahrzeug vorhandenes Objekt, als Bezugsobjekt verwendet. Die Bezugsobjekte werden mit dem wenigstens einen Bildsensor beobachtet. Ferner werden die zu den Bezugsobjekten zugehörigen Messdaten des wenigstens einen Bildsensors ausgewertet, indem die Messdaten mit den Solldaten verglichen werden. Anhand der Differenz zwischen Messdaten und Solldaten wird die Funktion des wenigstens

einen Bildsensors überwacht und/oder der wenigstens eine Bildsensor nach Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters kalibriert.

Figur 1 zeigt eine Übersichtszeichnung des bevorzugten Ausführungsbeispiels zur Erläuterung der Verwendung des Bildsensors 12, der zur Überwachung des Innenraumes 28 eines Kraftfahrzeuges eingesetzt wird. Der Bildsensor 12 ist so im Bereich der Windschutzscheibe 30 und des Daches 36 des Kraftfahrzeuges angebracht, dass der Bilderfassungsbereich des Bildsensors 12 den Innenraum 28 des Kraftfahrzeuges erfasst. Dabei nimmt der Bildsensors 12 den Sitz 38, beispielsweise den Beifahrersitz, und/oder die Kopfstütze 40 auf. Ferner erfasst der Bildsensor 12 gegebenenfalls eine nicht eingezeichnete Person und/oder andere Gegenstände im Innenraum 28, insbesondere auf dem Sitz 38. Der Bildsensor 12 ist über eine Signalleitung 26 mit einer Verarbeitungseinheit 14 verbunden. In der Figur 1 ist die Lage 30 des Bildsensors 12 in Bezug zum Bezugssystem 32 des Kraftfahrzeuges dargestellt. Ferner zeigt die Figur 1 ein Airbagmodul 50, das zum Schutz von Personen im Innenraum 28 bei einem Unfall des Kraftfahrzeuges eingesetzt wird.

Figur 2 zeigt ein Blockdiagramm der Figur 1, bestehend aus der zu überwachenden Szene 10, dem Bildsensor 12 und einer Verarbeitungseinheit 14. Die zu überwachende Szene 10 ist der Innenraum des Kraftfahrzeuges. Der Bildsensor 12 erzeugt aus der Lichtstrahlung 20 der zu überwachenden Szene 10 Bildsignale 22. Die Bildsignale 22 werden als Messdaten über die Signalleitung 26 nach Figur 1 zur Verarbeitungseinheit 14 übertragen. In der Verarbeitungseinheit 14 wird zum einen das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters durchgeführt. Zum anderen findet in der Verarbeitungseinheit 14 die Verarbeitung der Bildsignale 22 des Bildsensors 12 statt, um die Überwachungsfunktion des Bildsensors 12 zu erfüllen. Der Bildsensor 12 und die Verarbeitungseinheit 14 bilden das Messsystem 16. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird der Bildsensor 12 zur intelligenten Airbagsteuerung eingesetzt. Die Verarbeitungseinheit 14 wertet die Bildsignale 22 aus, um Signale des Messsystems 24 über eine Signalleitung an ein nachfolgendes System 18 zur Airbagsteuerung weiterzuleiten. Die Signale des Messsystems 24 beinhalten Informationen zur Klassifikation der Sitzbelegung und/oder Daten über die Out-Of-Position Detektion von Personen auf den Sitzen des Kraftfahrzeuges. Die Übertragung der Bildsignale 22 und/oder der Signale des Messsystems 24 auf den Signalleitungen erfolgt elektrisch und/oder optisch und/oder per Funk. In einer Variante des bevorzugten

Ausführungsbeispiels ist der Bildsensor 12 und/oder die Verarbeitungseinheit 14 und/oder das nachfolgende System 18 in einer oder gegebenenfalls mehreren Einheiten realisiert.

Figur 3 zeigt eine Übersichtszeichnung des bevorzugten Ausführungsbeispiels mit einer  
5 Vorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters des Bildsensors 12. Figur 3 ist eine Erweiterung der Figur 1. Im folgenden werden nur die zusätzlichen Teile der Figur 3 erläutert. Im Innenraum 28 des Kraftfahrzeuges werden speziell signalisierte Objekte 42 so eingebracht, dass sie im Bilderfassungsbereich des Bildsensors sind. Signalisierte Objekte 42 sind Objekte, die sich mit dem jeweiligen Sensorsystem, im bevorzugten Ausführungsbeispiel  
10 dem Bildsensor 12, gut automatisch detektieren lassen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel werden Infrarot-Leuchtdioden (IR-Leuchtdioden) eingesetzt. Die Position der signalisierten Objekte 42 in den Messdaten (Bildsignale) des Bildsensors 12 (Videosensor) werden mit der Sollposition der signalisierten Objekte 42 in der Verarbeitungseinheit 14 verglichen. Bei Abweichungen wird eine Dekalibrierung erkannt. Ferner wird die Position der signalisierten  
15 Objekte 42 in den Sensormessdaten zur Nachführung und/oder Bestimmung von wenigstens einem Kalibrierparameter eingesetzt. In einer Variante des bevorzugten Ausführungsbeispiels werden als signalisierte Bezugsobjekte 42 Bezugsobjekte mit Oberflächen mit hoher Reflektivität verwendet. Vorzugsweise werden signalisierte Bezugsobjekte 42 mit einer Reflektivität zwischen 0,5 und 1,0 eingesetzt. Die Synonyme Reflektivität, Rückstrahlvermögen  
20 und Albedo geben den Anteil der auf eine Oberfläche einfallenden Strahlung an, die zurückgestrahlt wird. Der Wert der Reflektivität kann Werte zwischen 0 bis 1 annehmen, wobei ein Wert von 1 bedeutet, dass 100% der einfallenden Strahlung zurückgestrahlt wird. Zusätzlich weisen die Bezugsobjekte gegebenenfalls eine geometrische Form auf. Als geometrische Formen werden beispielsweise wenigstens ein Punkt und/oder wenigstens ein Kreis und/oder  
25 wenigstens ein Dreieck und/oder wenigstens ein Viereck und/oder wenigstens ein Quadrat verwendet. Alternativ oder zusätzlich zu der geometrischen Form werden in weiteren Varianten als Bezugsobjekte wenigstens ein Buchstabe und/oder wenigstens ein Schriftzug und/oder wenigstens ein Logo verwendet. In einer weiteren Variante sind mehrere Bezugsobjekte alternativ oder zusätzlich zu einem 2D- oder 3D-Muster, beispielsweise wenigstens einem  
30 Kreuz und/oder wenigstens einem Kreis und/oder wenigstens einem Schriftzug, angeordnet. Ferner sind die Bezugsobjekte und/oder die Muster alternativ oder zusätzlich auf wenigstens einem für die jeweilige Anwendung relevanten Objekt, beispielsweise der Airbag-Klappe und/oder dem eigentlichen Airbag und/oder dem Lenkrad, angebracht. Die Verarbeitungseinheit 14 umfasst wenigstens einen Mikroprozessor und besteht aus mehreren in Figur 4 dargestellten



Modulen, die als Programme und/oder Programmschritte des wenigstens einen Mikroprozessors ausgestaltet sind.

Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm des Verfahrens des bevorzugten Ausführungsbeispiels zur automatischen Kontrolle und/oder Nachführung und/oder Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters der geometrischen Kalibrierung des wenigstens einen Bildsensors. Das Verfahren setzt Modellwissen 60 über die geometrische Lage von Bezugsobjekten im Innenraum des Kraftfahrzeuges und/oder über die Sollwerte 64 der Messdaten des wenigstens einen Bildsensors der Bezugsobjekte des Innenraumes des Kraftfahrzeuges voraus. Während des Einsatzes (Betrieb) werden die zu den bekannten Bezugsobjekten zugehörigen Sensormessdaten in Form von Bildsignalen 22 durch den Bildsensor 12 detektiert. Die Sensormessdaten (Bildsignale 22) der Bezugsobjekte werden mit den Solldaten 64 im Modul zur Differenzbildung 66 verglichen und hieraus im Modul zur Bestimmung der Kalibrierdaten 68 eine Dekalibrierung des Bildsensors erkannt und/oder es werden aus den Sensormessdaten (Bildsignale 22) der Bezugsobjekte wenigstens ein Kalibrierparameter über ein mathematisches Modell der Bildsensorabbildung bestimmt. Im Kraftfahrzeug-Innenraum sei ein euklidisches Koordinatensystem (Fahrzeugkoordinatensystem) definiert. Es gibt im Fahrzeug-Innenraum punktförmige Bezugsobjekte  $P_i$  ( $i=1..N$ ) mit bekannten 3D-Koordinaten  $(x_i, y_i, z_i)$ . Weiterhin ist die Solllage eines Bildsensors im 3D-Fahrzeugkoordinatensystem (extrinsische Kalibrierparameter) gegeben. Die Solllage besteht aus 6 Parametern, der Position des Projektionszentrums des Bildsensors im Kraftfahrzeug:  $(t_x, t_y, t_z)$  und der Rotation zwischen Kraftfahrzeug und Bildsensor, die mit den Drehwinkeln  $\alpha, \psi, \gamma$ , angegeben wird. Aus den Drehwinkeln ergibt sich die Rotationsmatrix

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \gamma & \cos \psi \sin \gamma & -\sin \psi \\ \sin \alpha \sin \psi \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \sin \alpha \sin \psi \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \psi \\ \cos \alpha \sin \psi \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \psi \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \cos \psi \end{pmatrix} \quad (1)$$

Weiterhin sind die intrinsische Kalibrierparameter, die Kammerkonstanten  $c_x, c_y$  und die Koordinaten des Bildhauptpunktes  $x_H, y_H$  bekannt. Die Projektion der 3D-Koordinaten  $(x_i, y_i, z_i)$  der Punktobjekte in das Bild, in die Bildkoordinaten  $(x'_i, y'_i)$  lässt sich mathematisch beschreiben mit:

$$\begin{aligned} x'_i &= c_x \frac{r_{11}(x_i - t_x) + r_{12}(y_i - t_y) + r_{13}(z_i - t_z)}{r_{31}(x_i - t_x) + r_{32}(y_i - t_y) + r_{33}(z_i - t_z)} + x_H; \\ y'_i &= c_y \frac{r_{21}(x_i - t_x) + r_{22}(y_i - t_y) + r_{23}(z_i - t_z)}{r_{31}(x_i - t_x) + r_{32}(y_i - t_y) + r_{33}(z_i - t_z)} + y_H; \end{aligned} \quad (2)$$

Ergebnis sind Sollkoordinaten  $x'_{si}$ ,  $y'_{si}$  der punktförmigen Bezugsobjekte im Bild. Die Messung der punktförmigen Bezugsobjekte im Bild liefert die Bildkoordinaten  $x'_{Mi}$ ,  $y'_{Mi}$ . Die Distanz zwischen Sollage und Istlage

$$d_{SMi} = \sqrt{(x'_{si} - x'_{Mi})^2 + (y'_{si} - y'_{Mi})^2} \quad (3)$$

wird für die Erkennung der Dekalibrierung des Sensorsystems verwendet. Wenn Distanzen über einer vorgegebenen Schwelle liegen ( $d_{MSi} > d_{MSmax}$ ) dann liegt eine Dekalibrierung des Bildsensors vor. Für eine Korrektur der extrinsischen Kalibrierparameter ( $\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz$ ) des Bildsensors werden die Parameter ( $\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz$ ) variiert, so dass die Fehlerquadratsumme zwischen gemessenen Bildkoordinaten und projizierten Bildkoordinaten minimal wird:

$$\sum_i (x'_{Mi} - x'(\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz, x_i, y_i, z_i))^2 + (y'_{Mi} - y'(\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz, x_i, y_i, z_i))^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

Die Bildkoordinaten  $x'(\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz)$  bzw.  $y'(\alpha, \psi, \gamma, tx, ty, tz)$  ergeben sich aus der obigen Projektionsvorschrift (2).

Figur 5 zeigt eine Übersichtszeichnung eines weiteren Ausführungsbeispiels mit einer Vorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters des Bildsensors 12. Figur 5 ist eine Erweiterung der Figur 1. Im folgenden werden nur die zusätzlichen Teile der Figur 5 erläutert. Zum Zweck der Überwachung einer Dekalibrierung und/oder zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters der geometrischen Kalibrierung werden in diesem Ausführungsbeispiel die Lage von bauartbedingt im Kraftfahrzeug vorhandenen Objekten in den Sensormessdaten überwacht und verfolgt. Die bauartbedingt im Kraftfahrzeug vorhandenen Objekte, wie der Türholm 44 und/oder der Himmel des Fahrzeugdaches 46 und/oder die Armatur 48, werden als Bezugsobjekte verwendet, wobei deren Lage in Abhängigkeit der Bildsignale des Bildsensors 12 vermessen und kontrolliert wird. Die Verarbeitungseinheit 14 umfasst wie im bevorzugten Ausführungsbeispiel nach Figur 3 wenigstens einen Mikroprozessor und besteht aus mehreren in Figur 4 dargestellten Modulen, die als Programme und/oder Programmschritte des wenigstens einen Mikroprozessors ausgestaltet sind. In einer weiteren Ausführungsform werden als Bezugsobjekte sowohl wenigstens ein zur Bestimmung des wenigstens einen Kalibrierparameters in der Szene angebrachtes Bezugsobjekt (ein signalisierendes Bezugsobjekt) und wenigstens ein natürlich vorkommendes Objekt der Szene, also ein bauartbedingt im Innenraum des Kraftfahrzeuges befindliches Objekt, verwendet.

Die beschriebene Vorrichtung und das Verfahren zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters wenigstens eines Bildsensors, sind nicht auf den Einsatz in der Kraftfahrzeugtechnik beschränkt. Vielmehr lässt sich die beschriebene Vorgehensweise mit den entsprechenden Merkmalen auch außerhalb der Kraftfahrzeugtechnik einsetzen. Voraussetzung ist lediglich, dass wenigstens ein Bildsensor derart konfiguriert ist, dass der wenigstens eine Bildsensor zur Überwachung einer in Teilen gleichbleibenden Szene geeignet ist. Eine in Teilen gleichbleibende Szene zeichnet sich dadurch aus, dass die Teile der Szene zeitlich unveränderlich sind. Solche Szenen treten beispielsweise in der Überwachungstechnik und der Sicherheitstechnik auf. Bei der Überwachung von Flughäfen, Bahnhöfen oder Straßen ist die Szene ebenfalls in Teilen gleichbleibend. Ein anderer Anwendungsfall ist die Überwachung eines Raumes, beispielsweise eines Tresorraumes einer Bank, mit wenigstens einem Bildsensor. Auch diese Szenen sind in Teilen gleichbleibend. Ferner lässt sich das Verfahren bei wenigstens einem Bildsensor verwenden, der zur Überwachung der Umgebung eines Kraftfahrzeuges eingesetzt wird. Voraussetzung ist auch hier, dass Teile der Szene zeitlich unveränderlich sind. Zeitlich unveränderliche Teile liegen dann vor, wenn Bestandteile des Kraftfahrzeuges, beispielsweise die Motorhaube und/oder die Stoßstange, im Bilderfassungsbereich des wenigstens einen Bildsensors liegen.

In einer Variante der beschriebenen Vorrichtung und des Verfahrens ist wenigstens ein Bezugsobjekt auf wenigstens einem bezüglich der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors relevanten Objekt der Szene angebracht. Relevante Objekte zeichnen sich dadurch aus, dass sie entweder direkt das Objekt der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors sind oder alternativ oder zusätzlich indirekt funktional mit der Überwachungsfunktion des Bildsensors verbunden sind. Im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik sind die Airbagklappe ein Beispiel für ein relevantes Objekt, das indirekt funktional mit der Überwachungsfunktion des Bildsensors verbunden ist. Obwohl der Bildsensor primär zur Überwachung der Belegungssituation der Sitze verwendet wird, ist die Überwachungsfunktion funktional über die Airbagsteuerung mit der Airbag-Klappe verbunden. Im Bereich der Sicherheitstechnik, beispielsweise bei der Überwachung eines Tresorraumes einer Bank, ist der Tresor der Bank direkt das relevante Objekt der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors.

Die vorstehend beschriebene Vorrichtung und das Verfahren werden in weiteren Varianten bei wenigstens einem oder mehr als einem Bildsensor angewendet. Als Bildsensoren wird

wenigstens ein monokularer Bildsensor und/oder wenigstens eine Stereokamera und/oder wenigstens ein tiefenbildgebender Bildsensor verwendet. Stereokameras bestehen aus wenigstens zwei Bildsensoren, die im wesentlichen dieselbe Szene aufnehmen.

Tiefenbildgebende Bildsensoren sind Entfernungsbild-Sensor, beispielsweise Time-of-Flight optische Sensoren (range video camera).

5

10

## Patentansprüche

15

20

25

30

1. Vorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters wenigstens eines Bildsensors,
  - wobei der wenigstens eine Bildsensor eine in Teilen gleichbleibende Szene, insbesondere den Innenraum eines Kraftfahrzeuges, überwacht,
  - wobei wenigstens eine Verarbeitungseinheit in Abhängigkeit von Bildsignalen eine Dekalibrierung des wenigstens einen Bildsensors im Betrieb des wenigstens einen Bildsensors erkennt,
  - wobei die wenigstens eine Verarbeitungseinheit bei einer erkannten Dekalibrierung die Dekalibrierung einem nachfolgenden System und/oder dem Fahrer meldet, und/oder den wenigstens einen Kalibrierparameter in Abhängigkeit von den Bildsignalen bestimmt,
  - wobei der wenigstens eine Bildsensor die Bildsignale zumindest von wenigstens einem invarianten Muster im Bilderfassungsbereich des wenigstens einen Bildsensors ableitet.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine invariante Muster durch wenigstens ein zur Bestimmung des wenigstens einen Kalibrierparameters in der Szene angebrachtes Bezugsobjekt gebildet wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Bezugsobjekt ein Leuchtmittel ist, insbesondere dass das wenigstens eine Bezugsobjekt eine Infrarot-Leuchtdiode ist, und/oder dass das wenigstens eine Bezugsobjekt derart gestaltet ist, dass es eine hohe Reflektivität aufweist, insbesondere, dass es eine Reflektivität zwischen 0,5 und 1,0 aufweist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Bezugsobjekt eine geometrische Form hat, beispielsweise ein Punkt und/oder ein Kreis und/oder ein Dreieck und/oder ein Viereck und/oder ein Quadrat, und/oder dass das wenigstens eine Bezugsobjekt wenigstens ein Buchstabe und/oder wenigstens ein Schriftzug und/oder wenigstens ein Logo ist.
- 5
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Bezugsobjekt auf wenigstens einem bezüglich der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors relevanten Objekt der Szene angebracht ist, insbesondere, dass das wenigstens eine Bezugsobjekt auf wenigstens einer Airbag-Klappe und/oder wenigstens einem Airbag und/oder wenigstens einem Lenkrad im Innenraum des Kraftfahrzeuges angebracht ist.
- 10
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine invariante Muster durch wenigstens ein natürlich vorkommendes Objekt der Szene gebildet wird, insbesondere, dass das wenigstens eine invariante Muster durch wenigstens ein bauartbedingt im Innenraum eines Kraftfahrzeug befindliches Objekt gebildet wird.
- 15
7. Verfahren zur Bestimmung wenigstens eines Kalibrierparameters wenigstens eines Bildsensors,
- 20
- wobei der wenigstens eine Bildsensor eine in Teilen gleichbleibende Szene, insbesondere den Innenraumes eines Kraftfahrzeuges, überwacht,
  - wobei eine Dekalibrierung des wenigstens einen Bildsensors während des Betriebes des wenigstens einen Bildsensors in Abhängigkeit von Bildsignalen erkannt wird,
  - wobei bei einer erkannten Dekalibrierung die Dekalibrierung einem nachfolgenden System und/oder dem Fahrer gemeldet wird, und/oder der wenigstens eine Kalibrierparameter in Abhängigkeit von den Bildsignalen bestimmt wird,
  - wobei die Bildsignale zumindest von wenigstens einem invarianten Muster im Bilderfassungsbereich des wenigstens einen Bildsensors von dem wenigstens einen Bildsensor abgeleitet werden.
- 25
- 30
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildsignale zumindest von wenigstens einem zur Bestimmung des wenigstens einen Kalibrierparameters in der Szene

angebrachten Bezugsobjekt und/oder zumindest wenigstens einem natürlich vorkommenden Objektes der Szene abgeleitet werden, wobei das wenigstens eine Bezugsobjekt insbesondere ein Leuchtmittel ist und/oder das wenigstens eine Bezugsobjekt eine hohe Reflektivität aufweist.

5

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildsignale von zumindest wenigstens einem Bezugsobjektes abgeleitet werden, wobei das wenigstens eine Bezugsobjekt auf einem bezüglich der Überwachungsfunktion des wenigstens einen Bildsensors relevanten Objekt der Szene angebracht ist, insbesondere, dass das wenigstens eine Bezugsobjekt auf wenigstens einer Airbag-Klappe und/oder wenigstens einem Airbag und/oder wenigstens einem Lenkrad im Innenraum des Kraftfahrzeuges angebracht ist.

10

10. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln, um alle Schritte von jedem beliebigen der Ansprüche 7 bis 9 durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird.

15

5

10

### Zusammenfassung

15

Es werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Überwachung, Nachführung und Bestimmung von wenigstens einem Kalibrierparameter der geometrischen Kalibrierung von wenigstens einem Bildsensor vorgeschlagen, wobei der wenigstens eine Bildsensor eine in Teilen gleichbleibende Szene überwacht. In einem Ausführungsbeispiel wird der wenigstens eine Bildsensor zur Überwachung des Innenraumes eines Kraftfahrzeuges verwendet.

20

(Figur 1)